

Tartu Ülikool
Sotsiaal- ja haridusteaduskond
Haridusteaduste instituut
Klassiõpetaja õppekava

Liina Karelson

ÕPETAJATE HINNANGUD 3D-PRINTERI KUI KAASAEGSE DIGITEHNOLOOGILISE
VAHENDI KASUTAMISELE ÕPPETÖÖS

magistritöö

Juhendaja: Leo Aleksander Siiman

Läbiv pealkiri: 3D-printeri kasutamine õppetöös

KAITSMISELE LUBATUD

Juhendaja: Leo Aleksander Siiman (PhD)

.....

(allkiri ja kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Krista Uibu (PhD)

.....

(allkiri ja kuupäev)

Tartu 2015

Resümee

Õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös

3D-printeri kasutamine koolides on eeskujuks, kuidas riiklikus õppekavas läbivat teemat „tehnoloogia ja innovatsioon“ rakendada ning inspireerida õpilasi valima tehnoloogiapõhist tulevikku. Magistritöö eesmärgiks oli välja selgitada 3D-printerit kasutanud õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös. Töö teoreetilises osas tutvustati varasemaid uurimusi seoses 3D-printeri kasutamisega koolides. Käesolev magistritöö oli kvalitatiivne uurimus, mille empiirilises osas koguti poolstruktureeritud intervjuude käigus andmeid neljalt õpetajalt, kes olid kasutanud õppetöös 3D-printerit. Andmeanalüüsi meetodina kasutati kvalitatiivset induktiivset sisuanalüüsi. Uurimuse tulemustest selgus, et õpetajate sõnul on koolis 3D-printer vajalik peamiselt õpilaste arendamiseks, kuid ka praktiliste esemete, ainetevahelise integratsiooni, positiivsete emotsioonide ning huvi tõstmiseks tehnikateaduste vastu. Uuritavate sõnul on 3D-printeri kasutamist soodustavateks teguriteks eseme valmimisprotsessi nägemine, koostöö tehnikuga, koolitatud õpetaja ning tarkvara valikuvõimalus.

Märksõnad: 3D-printimine, 3D-modelleerimine

Abstract

Teachers' evaluations of using a 3D printer as modern digital technology in teaching

Using 3D printers in schools sets an example of applying the “technology and innovation” aspect that is outlined in the national curriculum and also inspires students to choose a technology-based future. The aim of this Master’s thesis was to examine how teachers who have used 3D printers in teaching evaluate modern digital technology. In the theoretical part of this thesis, previous studies regarding the use of 3D printers in schools are introduced. This work was a qualitative study consisting of an empirical part that includes input gathered during semi-structured interviews with four teachers who have used 3D printers in teaching. Qualitative inductive content analysis was used as the method of data analysis. The study revealed that according to teachers, 3D printers are mainly useful in schools for student development but also for creating practical objects eliciting positive emotions, enhancing the integration between different subjects and generating interest in technology studies. According to the interviewees, the advantages of 3D printers include seeing the manufacturing process, cooperation with technicians, teacher professional development and choice of software.

Keywords: 3D printing, 3D modeling

Sisukord

Teoreetilised lähtekohad	6
Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia kasutamine	6
3D-printeri kasutamine	7
<i>3D-printeri mõiste ja olemus.</i>	7
<i>3D-printeri tarkvara.</i>	7
<i>3D-printeri kasutusvaldkonnad.</i>	8
Ülevaade varasematest uurimustest.....	9
<i>3D-printeri kasutamine.</i>	9
<i>Probleem matemaatikas.</i>	10
Uurimuse eesmärk ja uurimisküsimused.....	10
Valim	11
Andmete kogumine.....	11
Andmeanalüüs	12
Uurimuse valiidsus ja reliaablus	13
Tulemused	13
3D-printeri kasutegur õpilastele	14
3D-printeri kasutamist soodustavad ja takistavad tegurid.....	16
3D-printeri mõju õpilaste arengule.....	20
Arutelu.....	22
Töö kitsaskohad ja praktiline väärtus	23
Tänu sõnad	24
Autorsuse kinnitus.....	24
Kasutatud kirjandus.....	25
Lisa 1. Intervjuu kava	
Lisa 2. Näide kategooriate moodustamisest	

Sissejuhatus

Erinevaid tehnoloogilisi abivahendeid kasutatakse koolides juba üle saja aasta. Loodusõpetuse klassi võttis Johannes Käis 1912/13 õppeaastal kasutusele tehnilistest õppevahenditest kinoaparaadi projektsioonilaterna ja epidiaskoobi (Leppik, 2000). Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia (edaspidi IKT) vahendite kasutamist õppimisel ja õpetamisel seostatakse 21. sajandi oskustega (Ahonen & Kinnunen, 2014). Tööle minnes oodatakse noortelt loovat ja kriitilist mõtlemist, probleemide lahendamist, suhtlemist ja koostööd ning IKT vahendite kasutamisoskust (Valtonen et al., 2015).

Haridusvaldkonna tähtsamaid arenguid suunava elukestva õppe strateegia dokumendis on öeldud, et Eesti vajab arusaama, kuidas liikuda teadmiste- ja innovatsioonipõhise ühiskonna suunas. Strateegia üheks eesmärgiks on digipööre elukestvas õppes, kus õppimisel rakendatakse kaasaegseid digitehnoloogilisi vahendeid otstarbekamalt ja tulemuslikumalt. (Eesti elukestva õppe strateegia 2020, 2014).

Põhikooli riiklik õppekava (2014) ja gümnaasiumi riiklik õppekava (2014) sätestavad, et digipädevus on „suutlikkus kasutada uuenevat digitehnoloogiat toimetulekuks kiiresti muutuv ühiskonnas nii õppimisel, kodanikuna tegutsedes kui ka kogukondades suheldes; leida ja säilitada digivahendite abil infot ning hinnata selle asjakohasust ja usaldusväärsust; osaleda digitaalses sisuloomes, sh tekstide, piltide, multimeediumide loomisel ja kasutamisel; kasutada probleemilahenduseks sobivaid digivahendeid ja võtteid, suhelda ja teha koostööd erinevates digikeskkondades; olla teadlik digikeskkonna ohtudest ning osata kaitsta oma privaatsust, isikuandmeid ja digitaalset identiteeti; järgida digikeskkonnas samu moraali- ja väärtuspõhimõtteid nagu igapäevaelus“ (para 4). Põhikooli riikliku õppekava ja gümnaasiumi riikliku õppekava läbiva temaga tehnoloogia ja innovatsioon taotletakse, et õpilane tuleb toime kiiresti muutuva tehnoloogiaga keskkonnas ning suudab nüüdisaegseid tehnoloogiaid eesmärgipäraselt kasutada (Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2014; Põhikooli riiklik õppekava, 2014). Tehnoloogia- ja innovatsioonipädevuse edukaks rakendamiseks peab õppetöös kasutama kaasaegseid digitehnoloogilisi vahendeid otstarbekalt, et saavutada soovitud eesmärgid ning Eestis on selleks koostatud eesmärgistatud strateegia. Kaheksanda klassi õpilaste osakaal kõigist kaheksanda klassi õpilastest, kes õpivad digitaalselt toetavates koolides, oli 2011/12 õppeaastal 33%, kuid aastaks 2020 on eesmärgiks seatud 100% (Eesti elukestva õppe..., 2014). Põhikooli ja gümnaasiumi õpilastel seisab ees valik, missugust eriala tulevikuks valida. 2012. aastal oli kõrghariduses loodus- ja täppisteaduste, tehnika, tootmise ja ehituse erialade lõpetanute osakaal oli 22% lõpetajatest (EHIS, 2012), kuid aastaks 2020 on

eesmärgiks kasvatada nende erialade lõpetajate arvu kolme protsendi võrra (Eesti elukestva õppe..., 2014). Eesti elukestva õppe strateegia 2020 eesmärkide üheks elluviimise võimaluseks on huvi tehnoloogiaõppe vastu suurendamine 3D-printeri kasutamise abil.

3D-printimine on üks õpetamise vahend, mis inspireerib õpilasi, sisendab kindlustunnet ning esitab väljakutseid (Lacey, 2010). 3D-printeri mõjust õpilastele ja õppimisele on uurimustes välja toodud, et halva keskendumisvõimega õpilased suutsid 3D-printerit kasutades tunni vastu huvi tunda ning motiveerituna said nad avastada keerulisemaid disaine ja ideid (Department for Education, 2013). Eesti koolides kasutatakse 3D-printereid vähe ja autorile teadaolevalt ei ole tehtud Eestis varasemaid uuringuid 3D-printerite kasutamisest õppetöös, siis sellest tulenevalt on magistritöö eesmärgiks välja selgitada 3D-printerit kasutanud õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös.

Teoreetilised lähtekohad

Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia kasutamine

2014ndal aastal lisati Põhikooli riiklikusse õppekavasse ja Gümnaasiumi riiklikusse õppekavasse uue pädevusena digipädevus. Digipädevus on üks kaheksast elukestva õppe võtmepädevustest. Uue pädevusega taotletakse, et digitehnoloogiat kasutatakse õppimisel digitaalses sisuloomes ja probleemilahendusteks (Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2014; Põhikooli riiklik õppekava, 2014). Tiigrihüppe Sihtasutuse poolt läbi viidud uuringust selgus, et 56% õpetajatest kasutab info- ja kommunikatsioonitehnoloogia vahendeid vähemalt pooltes tundides ning vaid 7% õpetajatest ei kasuta vahendeid mitte kunagi (Prei, 2013). 2004. aastal kasutas Eesti elanikest arvutit 56% (Halapuu & Valk, 2013) ning rahvusvahelises täiskasvanute oskuste uuringus PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies) kasutati 7500 eestlase andmeid ning selgus, et kümnendik 16-65 aastastest inimestest ei ole kunagi arvutit kasutanud (OECD, 2013). Seega ei ole paljud täiskasvanud liikunud kaasa infotehnoloogiliste uuendustega.

Õpetajatel ning õpilastel on erinevad arvamused, missugune mõju on IKT kasutamisel õppetööle. Tiigrihüppe Sihtasutuse poolt läbi viidud uuringust selgus, et õpetajate arvates tõstab IKT vahendite kasutamine õpilaste motivatsiooni ja huvitatust ning muudab õpetamise kiiremaks ja lihtsamaks. Õpilaste arvates muudab IKT vahendite kasutamine õppimise huvitavamaks ja meeldivamaks ning materjal muutub arusaadavamaks (Prei, 2013). Uuringust selgus veel, et peamisteks takistusteks IKT vahendite kasutamisel on ajanappus, arvuti või

projektori puudumine klassist, süsteemsete ja usaldusväärsete e-õppematerjalide puudumine, aeglane Internetiühendus ning puudulikud oskused ja teadmised.

Infoühiskonna arenemise tõttu ei ole informatsioon halvasti kättesaadav, vaid informatsiooni on juba liiga palju (Halapuu & Valk, 2013). Arvuti laialdase kasutamisega tekib oht, et mõistete selgeks saamisel ei kasutata ümbritsevat keskkonda, vaid vaadatakse virtuaalmaailmas näiteks värvilisi pilte (Leppik, 2010). 3D-printeriga saab ühendada virtuaalmaailma ning tegelikkuse, kui arvutis disainitud kujund välja printitakse.

3D-printeri kasutamine

3D-printeri mõiste ja olemus. Klassikaline arvutist failide printimine on 2D-printimine, kuid digitaalse faili printimine füüsiliseks tahkeks objektiks on 3D-printimine (Satwant, 2012). 2D-printeriga saab printida ruudu, kuid 3D-printeriga kuubi (Kelly, 2014). Kiire prototüüpimine võimaldab eseme disaineril ja väljatöötajal kiiresti muuta arvutipõhine mudel 3D-printeriga füüsiliseks objektiks. Kiire prototüüpimise protsess algab CAD tarkvaraga virtuaalse objekti disainimisega, kus tarkvara tõlgendab CAD faili kihtidena (Lacey, 2010). CAD tarkvara on tarkvara, mille abil on võimalik modelleerida esmeid kolmemõõtmeliselt (Anadioti et al., 2015).

Enamus 3D-printerite tööpõhimõtteks on, et vertikaalsuunas tulev materjal koguneb üksteise peale altpoolt üles liikudes järjestikusteks õhukesteks kihtideks (Christiansen, Schmidt & Bærentzen, 2015). Üksteise peale tekivad kihid seni, kuni prototüüp on täielikult valmis (Lacey, 2010). Erinevad 3D-printerid ehitavad objekte erinevatel viisidel ning materjalid on mitmekesised, kuid peamiselt kasutatakse prototüüpide tegemisel plastmassi (Satwant, 2012). Arendajad on loonud odavamad printerid (500-1500 dollarit), mis on taskukohased harrastajatele nagu õpilased ja õpilasprogrammid ning nendel printeritel kasutatakse rulli keeratud plastmassniiti (Thornburg, 2014). 3D-printeri tehnoloogia sulatab kõrgel temperatuuril plastmassi vedelaks ning kihtide haaval kuju võttes ese kiiresti jahutatakse ning see taheneb (Kelly, 2014). 3D-printimise objekti suurus on olenevalt masinast erinev, kuid tavapärasem objekt on mõnest kuupmeetrist kuni 15 sentimeetri pikkune (Thornburg, 2014).

3D-printeri tarkvara. 3D-joonestamise tarkvara saadab arvutist 3D-printerile töö. Õpilased saavad skaneerida või importida kujutisi, printida kellegi teise digitaalset kujutist või disainida tarkvaraga enda kujutise (Foulger, 2013). On olemas mitmeid 3D-disainimise

programme. Esmalt tuleb mõelda, mida soovitakse ehitada ning siis valida modelleerimise tarkvara, millega on ülesannet lihtsaim lahendada. Thornburg (2014) leiab, et mida rohkem tööriistu on tarkvaral, seda konkreetsemaks muutub töö. Thornburg liigitab 3D-tarkvaraprogrammid kolmeks:

- geomeetrilised kujundid, näiteks Sketchup Make;
- kujundid, mida üldiselt voolitakse mudelsavist, näiteks Sculpturis;
- ise vabas vormis välja mõeldud kujundid, näiteks OpenSCAD.

Keerukamate matemaatiliste mudelite valmistamiseks on mõeldud 3D-disainimise programmid Rhinoceros ja Blender (Segerman, 2012). Paljud programmid pakuvad hariduses kasutamiseks suuri allahindlusi, kuid on ikkagi suhteliselt kallid. Segerman (2012) arvab, et tasuta tarkvara Blender on populaarne, kuid selle puudusteks on ebastandardne kasutajaliides ning programmi oskamine paraneb järsult kasutamiskogemusega. MeshLab programmil on vähem funktsioone, kuid selles on andmeid hea vaadata ja vajadusel ka teha muudatusi teha. Nii MeshLab kui ka Belenderi tarkvaraga saab tööd teha Windows, OS ja Linux operatsioonisüsteemides.

3D-printeri kasutusvaldkonnad. 3D-tehnoloogia on olnud kasutusel kaks aastakümnet meditsiiniliste implantaatide ja õhusõidukite mootorite osana (Thornburg, 2014). Tööstuses kiire prototüüpimine 3D-printeriga muudab töö kiiremaks ning taskukohasemaks kui näiteks puust käsitsi prototüüpe luues (Lacey, 2010). 3D-tehnoloogia on välja arendatud peamiselt kiirelt prototüüpide loomiseks tööstusdisainis (Segerman, 2012), kuid tehnoloogiat kasutatakse veel erinevates valdkondades nagu ehitus, autotööstus, lennundus, hambaravi- ja meditsiinitööstus, geograafilised infosüsteemid ja haridus (Satwant, 2012). Hariduses saab 3D-printeriga teha kõike, mida õpilane või õpetaja suudab disainida (Moorefield-Lang, 2014). Õpilased saavad luua teaduslikke vahendeid esitlusteks, ringpilte ning keemia ja matemaatika mudeleid (Eisenberg, 2013). Segman (2012) arvab, et 3D-printimise peamised eelised matemaatiliste mudelite loomisel on, et toota saab omanäolisi geomeetrilisi kujundeid, mille lõpp-produkt on ligilähedane matemaatiliselt ideaalsele mudelile ning tegemisel puuduvad suured kulutused. Veel saavad õpilased luua keerukaid süsteeme ja prototüüpe, sest kasutades eraldi prinditud esemeid, luuakse mitmest objektist koosnevaid liitobjekte (Foulger, 2013).

Ülevaade varasematest uurimustest

Autorile teadaolevalt ei ole tehtud Eestis varasemaid uurimusi 3D-printerite kasutamisest hariduses. Peamiselt on muljal maailmas läbi viidud uuringuid Ameerika Ühendriikides ja Suurbritannias, sest seal kasutatakse 3D-printereid koolides kõige rohkem.

3D-printeri kasutamine. Suurbritannias tehti kahekümne kahes koolis projekt, et uurida 3D-printeri kasutamist hariduses. Department for Education (2013) uurimusest selgus, et üheks 3D-printeri kasutamise edukust mõjutavaks teguriks on õpetajate katsetamine ja õppimine, sest õpetajate arvates kulus mitu kuud 3D-printeri ning tarkvaraga tutvumiseks, enne kui sai enesekindlalt alustada õpilaste õpetamist. Vähesed teaduse õpetajad on osalenud tehnikakursustel ning ka tulevaste õpetajate õppejõud omavad vähest kogemust tehnikaõpetuses (Foulger, 2013). Department for Education (2013) uuringust selgus veel, et õppekavasse integreerisid 3D-printerit edukamalt enesekindlad õpetajad, kellele meeldis antav aine ning nad ei kartnud uuendusi ning võrdluseks ei olnud printimise protsess edukas, kui õpetajad töötasid üksinda ning ei võtnud vastu kaasõpetajate toetust. Kooli tehnika toetus on oluline tegur, sest eriala esindaja kindlustab, et valitud tarkvara saaks üle kooli kasutada erinevates ainetes. Lisaks on 3D-printeri kasutamise motivaatoriks masina kättesaadavus kooli töötajatele ning õpilastele (Department for Education, 2013). 3D-printer võib sobitada mõnda klassiruumi, raamatukokku või eraldi ruumi, kus on veel tehnikat ning sinna on juurdepääs õpilastel ka pärast tunde enda projektide tegemiseks (Thornburg, 2014). Enamik printeritest hoitakse õpilastele kättesaadavalt tehnoloogiaõpetuse klassis, sest sealsed õpetajad on peamiselt 3D-printeri kasutajad ja eksperdid koolis (Department for Education, 2013).

2014. aastal tehtud Next Generation Science Standards (NGSS) ja Common Core State Standards (CCSS) uurimustest peegeldusid matemaatika ja keelte alased muutused koolis ning suurima muutusena märgiti, et hariduses liigutakse sisult protsessile ehk õpilased õpivad mõtlema ja probleeme lahendama praktiseerivas õppes (Thornburg, 2014). Õpilased reageerivad paremini praktilisele õppele, sest nii on lihtsam õppida ja saada aru kontekstist kui lihtsalt õpikut lugedes (Lacey, 2010). 3D-tehnoloogiat kasutades on õpilastel vabadus disainida mingi ese ning see välja printida, kuid võimalus on ka kellegi teise projekteeritud ese välja printida. Ameerika Ühendriikides ei ole vajalik omada 3D-printerit, sest on mitmeid veebipõhiseid ettevõtteid, mis 3D-prindivad mudeleid taskukohase hinnaga (Segerman, 2012). Veebilehtedel (näiteks Thingiverse) pakutakse tuhandeid kavandeid alla laadimiseks ja printimiseks. Õpilastele on kasulik ka kellegi teise loodud ese välja printida ning selle

näitel modelleerida samasugune objekt, sest järeletehtud eseme loomine on näitab õppimist (Thornburg, 2014).

Probleem matemaatikas. Leidub mitmeid uurimusi, kus käsitletakse ruumilist mõtlemist. Tulemustest selgus, et hea ruumilise mõtlemisega õpilased jõuavad loodus- ja täppisteadustes, tehnoloogia ning tehnika valdkonnas kaugemale ning saavutavad kõrgemaid teaduskraade nendes valdkondades (Wai, Lubinski & Benbow, 2009). Sorby (2009) uuringust selgus, et ruumiline mõtlemine on kergesti arendatav. Kui võrreldi halva ruumilise mõtlemisega õpilasi ning ühele grupile viidi läbi ruumiliste oskuste arendamise kursus, siis kursuse läbinud õpilased said kõrgemaid hindeid matemaatika ja loodusteaduste testides kui need, kes kursust ei läbinud.

Eestis 2014. aasta laia matemaatika riigieksami analüüs näitas, et õpilastel oli keeruline lahendada ruumilist kujutlusvõimet eeldavat stereomeetriaülesannet, milles oli vaja rakendada geomeetria mõisted ja seosed. Laia matemaatika riigieksamit tegid 4171 õpilast ning stereomeetriaülesande lahendatus oli vaid 37,6% (Lepmann, 2014). Rahvusvahelisest haridusuuringust Programme for International Student Assessment (PISA) selgub, et Eesti õpilased on edukamad traditsiooniliste matemaatika sisuvaldkondade rakendamisel ja tõlgendamisel (PISA, 2012). Veel näitas uuring, et Eesti õpilaste matemaatika tulemustest olid nõrgad sooritusel geomeetrias ja statistiliste ülesannete lahendamisel. Õpilastele on geomeetrias probleemiks kolmemõõtmeliste objektide erinevast küljest kujutamine, kujundite esituste konstrueerimine ning geomeetria põhilised mõisted ja omadused. Orton (2004) ütleb, et matemaatika õpetamisel on olulised märksõnad avastus, uurimine, tegutsemine, probleemi lahendamine, kuid paljusid õpilasi õpetatakse läbi selgitamise ja antakse vähe võimalusi õppida avastades. Praegusel ajal on õpetajatel järjest suurem surve kasutada aktiivsemat ja praktilisemat lähenemist õppetundidele.

Uurimuse eesmärk ja uurimisküsimused

Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada 3D-printerit kasutanud õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös. Eesmärgi saavutamiseks püstitati järgmised uurimisküsimused:

- Milliseid põhjuseid toovad õpetajad esile 3D-printeri kui tehnoloogilise abivahendi vajalikkusest koolis?
- Missuguseid soodustavaid ja takistavaid tegureid toovad õpetajad esile 3D-printeri kasutamisel?

- Kuidas hindavad õpetajad 3D-printeri kasutamise mõju õpilaste arengule?

Metoodika

Valim

Valimi moodustamiseks kasutati eesmärgipärast valimit, kus osalenud vastavad mingile kindlale kriteeriumile (Polkinghorne, 2005). Valimi moodustamise tingimuseks oli, et uurimuses osalevad õpetajad oleksid koolitundides kasutanud 3D-printerit. Andmete kogumiseks uuriti Internetist kooli kodulehekülgi, missugused haridusasutused kasutavad 3D-printerit põhikoolis või gümnaasiumis. Kriteeriumile vastava kooli juhtkonnaga võeti ühendust telefoni teel ning täpsustati õpetajate nimed, kes kasutavad õppetöös 3D-printerit. Eialgu plaanitud valimist langes välja neli kooli, sest kahe kooli õpetajad ei andnud uurimuses osalemiseks nõusolekut ning kahes koolis oli 3D-printer olemas, kuid tehnilistel põhjustel ei oldud enne aprillikuud aastal 2015 seda õppetöös rakendatud ning seetõttu ei olnud õpetajad sobilikud uurimisküsimuste teemal rääkima. Uurimuses osalevate õpetajatega lepidi kohtumine kokku e-kirja või telefoni teel viimaks läbi intervjuu õpetajate koolimajades neile sobival ajal. Valimi moodustasid õpetajad, kes kasutasid õppetöös 3D-printerit III kooliastme lõpus või gümnaasiumis.

Andmete kogumine

Iga uurimuses osalenud õpetajaga viidi läbi poolstruktureeritud intervjuu. Intervjuu eeliseks teiste andmekogumismeetodite ees on võimalus andmekogumist vastavalt olukorrale ja vastajale reguleerida (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 2004). Sellise andmekogumisviisi kasuks otsustati peamiselt seetõttu, et antud teemat on Eestis vähe uuritud ning valdkond on tundmatu.

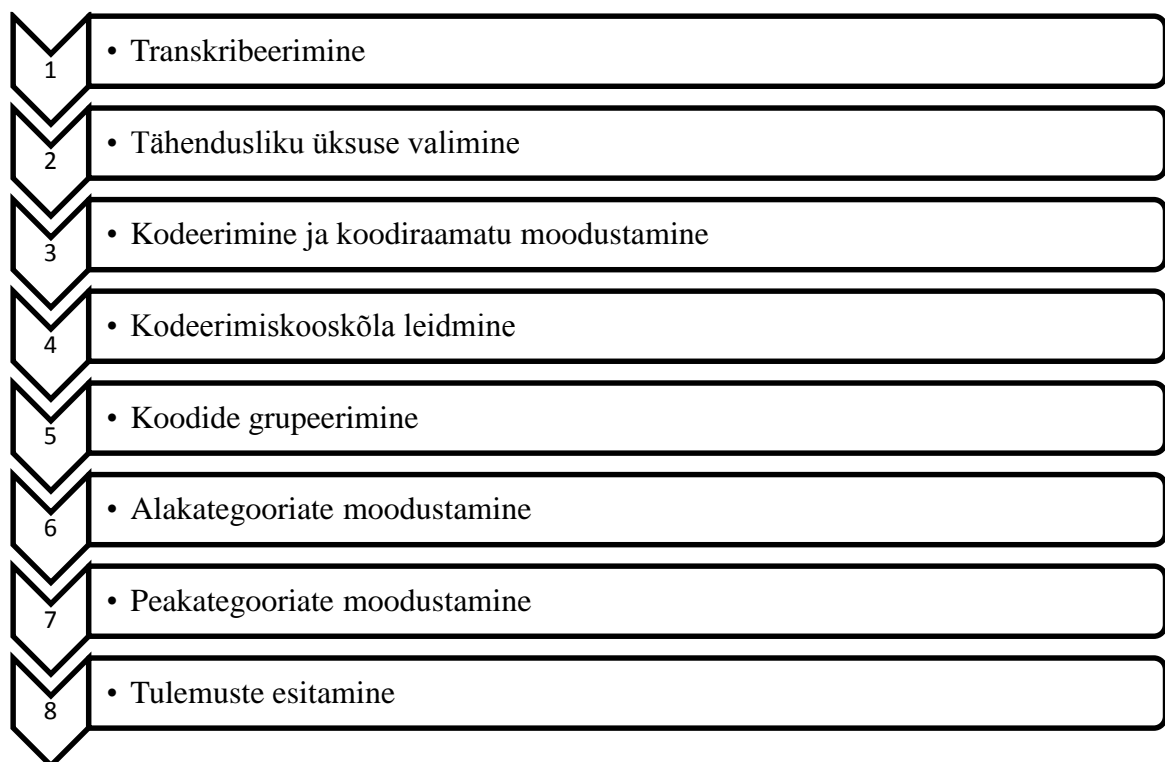
Intervjuu küsimuste koostamisel lähtuti uurimuse eesmärkidest. Küsimuste kava ehitati üles teemaplokkidena: IKT vahendite kasutamise oskus; 3D-printeri kasutamine; 3D-printer õppetöös; prinditud esemed; õpilaste areng. Konfidentsiaalsuse tagamise põhimõttel ei esitanud uuritavatele üldandmeid sisaldavaid küsimusi, mida teada saades oleks võimalik tuvastada uurimuses osalenud isikud.

Esimene intervjuu viidi läbi pilootintervjuuna, mille eesmärgiks oli välja selgitada, kas küsimustega saadakse piisavalt sisukad vastused kõikidele uurimisküsimustele. Pilootintervjuu järgselt tehti intervjuuküsimustes muudatusi, et järgnevatel uuritavatel oleksid

küsimused üheselt mõistetavad. Pilootintervjuu andmeid kasutati uurimuse tulemustes, sest kriteeriumile vastavaid uuritavaid oli vähe.

Andmeanalüüs

Andmete analüüsimiseks valiti kvalitatiivne induktiivne sisuanalüüs, mis sobib millegi kirjeldamiseks, kui teema kohta ei ole piisavalt teooriaid või uurimisandmeid (Laherand, 2008; Schreier, 2012). Kvalitatiivse sisuanalüüsiga on andmete kogumine avatud ning eesmärgiks on leida uuritavates olukordades uudseid aspekte (Õunapuu, 2014). Andmete analüüsi protsess koosnes etappidest, mis on esitatud joonisel 1.



Joonis 1. Andmeanalüüsi protsess

Andmete analüüsimist alustati intervjuude transkribeerimisega. Transkribeerida tuleb sõnasõnaliselt, kui uurimuse eesmärgiks on kirjeldada uuritavate teadmisi, suhtumist, väärtusi ja kogemusi (McLellan, MacQueen & Neidig, 2003). Intervjuude transkribeerimisel kasutati helifailide kuulamiseks *VLC Media Player* programmi. Hiljem asendati uuritavate nimed (Kristjan, Markus, Mihkel ja Argo) pseudonüümidega ning eemaldati äratundmist võimaldavad sõnad, et tagada õpetajate konfidentsiaalsus. Olenevalt intervjuu andmete mahust ning intervjuueeritava rääkimise kiirusest kulus transkribeerimiseks keskmiselt kuus tundi.

Pärast transkribeerimist loeti teksti korduvalt, et leida tähenduslikud üksused. Tähenduslik üksus võib koosneda rohkem kui ühest lausest ning sisaldada mitmeid tähendusi (Elo & Kyngäs, 2008). Tähenduslikud üksused märgistati ning neile anti sisust lähtudes koodide nimetused. Koodid grupeeriti nende omavahelise sarnase tähenduse järgi (Hsieh & Shannon, 2005). Pärast kõikide intervjuude kodeerimist paigutati koodid ühte faili, mis moodustas koodiraamatu.

Uurimisküsimuste kontekstis vajalikud koodid prinditi välja ning lõigati tükkideks, et kategoriseerida koode. Uurimisküsimuste põhjal tekkisid peakategooriateks 3D-printeri kasutegur õpilastele, 3D-printeri kasutamist soodustavad ja takistavad tegurid ning mõju õpilaste arengule. Kategoriseerimise näide on esitatud lisas 2.

Uurimuse valiidsus ja reliaablus

Usaldusväärsuse tagamist uurimuses hinnatakse valiidsuse ja reliaablusega (Ryan-Nicholls & Will, 2009). Esimene intervjuu viidi valiidsuse suurendamiseks läbi pilootintervjuuna. Pilootintervjuu käigus saadi kogemus, kuidas intervjuud läbi viia. Pilootintervjuuga selgitati välja, kas kõikidele uurimisküsimustele saadakse piisavad vastused. Pilootintervjuu järgselt tehti intervjuuküsimustes muudatusi (näiteks küsimus *kuidas mõjutab 3D-tehnoloogia õpilase arengut?* asendati täpsustamiseks küsimusega *kuidas mõjutab 3D-printeri kasutamine ja 3D-modelleerimine õpilaste arengut?*).

Pärast koodeerimist tuldi teksti juurde mitmel korral uuesti tagasi. Reliaabluse suurendamiseks tehti mõne aja möödudes korduskodeerimine, et võrrelda ning muuta koode. Schneider (2012) ütleb, et soovitatavalt viib analüüsi läbi rohkem kui üks inimene. Golafshani (2003) lisab, et andmeanalüüsi usaldusväärsust parandab triangulatsioon läbi teiste uurijate kaasamise. Valiidsuse tagamiseks kasutati uurijatriangulatsiooni, kus üks intervjuu kodeeriti ka kaaskodeerija poolt, et minimeerida vigu.

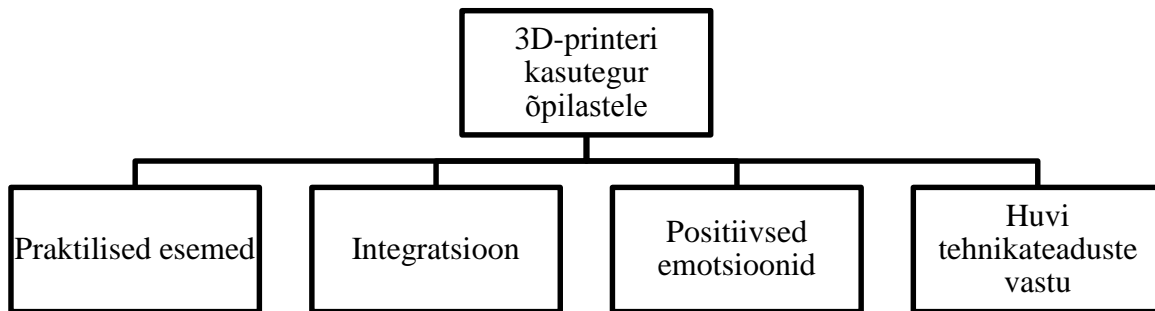
Tulemused

Käesoleva uurimuse eesmärgiks oli välja selgitada õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös. Andmeanalüüsi tulemusel moodustati kolm põhikategooriat:

- 3D-printeri kasutegur õpilastele
- 3D-printeri kasutamist mõjutavad tegurid
- 3D-printeri mõju õpilaste arengule

3D-printeri kasutegur õpilastele

Intervjueeritud õpetajad tõid välja 3D-printeri vajalikkuse õpilaste jaoks õppetöös. Selle kategooria all räägiti järgnevatest teguritest: (1) praktilised esemed, (2) integratsioon, (3) positiivsed emotsioonid ja (4) huvi tehnikateaduste vastu. Tulemuste esitamiseks koostati joonis (vt joonis 2).



Joonis 2. Esimese uurimisküsimuse andmeanalüüsil eristunud pea- ja alakategooriad

(1) Praktilised esemed. Uurimuses osalenud õpetajad selgitasid, et eseme väljamõtlemine ja modelleerimine peab olema mingi kindla eesmärgiga, et seda oleks mõistlik hiljem välja printida. Õpetajate sõnul on tundides tehtud nii õpetaja poolt kindlaks määratud esemeid kui ka vabamas vormis esemeid. Rääkides intervjueeritavatega õppeainetes välja prinditud esemetest, selgus, et kõiki modelleeritud asju alati välja ei prindita. Peamiselt prinditakse välja esemed, millel on praktiline väärtus ja kasutegur õpilase jaoks.

Olen andnud mingisuguse suuna kätte, et kusagil annaks praktiliselt kasutada, kooli suveniir oli üks teema, teine oli mänguasi, et midagi reaalselt, millega saaks lapsed mängima hakata (Kristjan).

Olenevalt tunni eesmärkidest saab 3D-printeriga modelleerida ja välja printida esemeid, mida ilma 3D-printerita ei oleks võimalik koolis teha. Õpetajate sõnul on õpilastel vabadus disainida just selliseid esemeid, mida nad suudavad oma peas välja mõelda.

3D-printeriga saab ükskõik mida teha, saab isegi liikuvaid asju, kuullaagreid ja väikeseid liikuvaid vidinaid printida, mida tavaliselt oleks väga keeruline teha. Abstraktsed vidinad on alati hästi ägedad, mida standardvahenditega ei ole üldse võimalik teha, näiteks sees on midagi ja struktuur on ümber (Mihkel).

(2) Integratsioon. Uuritavad ütlesid intervjuude käigus, et 3D-printer on koolis tehnoloogiliseks abivahendiks õppeainete vahelises integratsioonis. Ühes õppeaines saab eseme valmis joonestada, teises eseme modelleerida ja printida ning kolmandas õppeaines seda praktiliselt kasutada. Intervjueeritavad lisasid, et olenevalt tunni teemast saab 3D-

printerit kasutada õppeainetes erinevas mahus, sest õppekavas on määratletud, missugused teemad tuleb õppeaastas läbi töötada.

Mida iganes sellega teha saab /.../ Mingeid piire ei ole integreerimisel (Argo).

Koolis õppevahendite tegemine 3D-printeriga on küll üks hea asi, näiteks keemia õpetaja annab molekulaarstruktuuri välja printida. Ja matemaatikaõpetaja õppevahenditena ruumilised kujundid, et mõõtki pindala ja sellised asjad. Läbi erinevate ainete, ühes tunnis modelleerid asja valmis ja teises kasutad (Markus).

Näiteks kunstiajalooga lõimida, seal on olnud ülesandeks, et lõpptulemuseks peaks olema mingi väike mudel majast, näiteks kirikust (Mihkel).

Tohutult on tegelikult võimalust kunstis teha, kõik võimalused on olemas. Ja matemaatikaga ta muidugi seostub väga hästi, samal ajal matemaatika teeb seda ka, aga seal on suhteliselt määratletud programm, aga kunstis on vabadust rohkem, et millised õppeülesanded võtta (Kristjan).

(3) Positiivsed emotsioonid. Uurimuses osalenud õpetajad tõid välja, et nende arvates ei ole ühtegi põhjust, miks 3D-printeri kasutamine võiks olla õpilastele negatiivne. Intervjueeritavad rääkisid, et pärast eseme modelleerimist arvutis saavad õpilased näha enda tehtud tööd füüsilise objektina ning see tekitab lastes positiivseid emotsioone. Kõigi intervjuude käigus jäi kõlama, et õpilaste jaoks on see positiivne elamus, kui nad näevad enda tehtud tööst tervikpilti.

Kui me midagi modelleerime, siis nad päriselt näevad seda, nüüd see on päriselt füüsilisel kujul olemas. Selline ahhaa efekt, see on kindlasti oluline (Markus).

(4) Huvi tehnikateaduste vastu. Koolides kasutatakse 3D-printereid III kooliastme lõpus ja gümnaasiumis ning seetõttu mõtlevad õpilased ka karjääri planeerimisele. Intervjueeritavate hinnangul mõjutavad 3D-printeri võimalused õpilaste hoiakuid, et tulevikus õppida ja karjääri teha näiteks loodus- ja täppisteaduste ja tehnoloogia vallas. Kõik õpetajad lisasid, et õpilaste hoiakute kujunemine on väga individuaalne, sest õpilastel on erinevad huvid ning arusaamad, kuid kindlasti mõned õpilased saavad modelleerimisest ja printeri kasutamisest innustust.

See on tõesti väga isiklik, aga see on täiesti võimalik, et keegi tehnoloogiahuvisem õpilane saab sellest innustust (Mihkel).

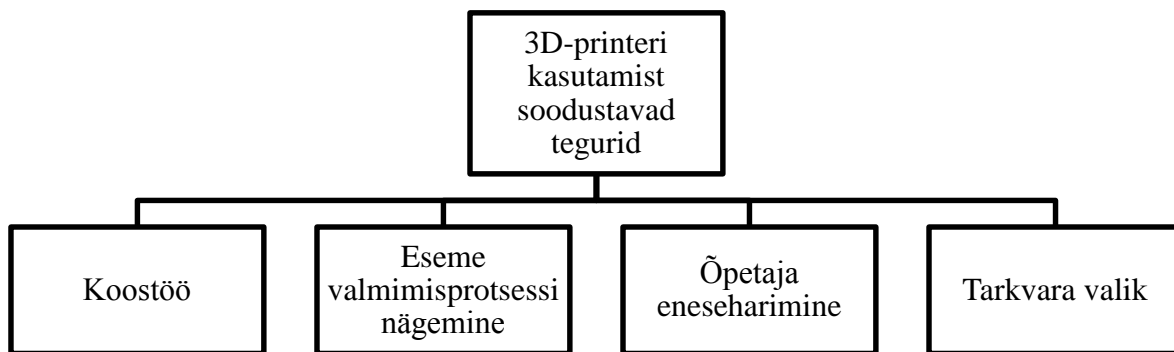
Ma arvan, et on oluline, et selliseid insenerierialasid valitaks rohkem (Argo).

Õpilased kasutavad igapäevaselt tehnoloogiat ning seetõttu ei ole arvutis modelleerimine õpilastele keeruline. 3D-printerite kasutamine on Eesti koolides uus valdkond ja õpetajate sõnul seda hakatakse järjest rohkem kasutama nii koolides kui kodudes. Seetõttu on raske prognoosida, kui paljud õpilased tulevikus planeerivad karjääri koolis õpitud tehnoloogia vallas.

See on tuleviku tehnoloogia ja ma arvan, et seda järjest rohkem hakatakse kasutama, kuni sinnamaani välja, et masinad jõuavad kodudesse lõpuks. See on üks potentsiaalne töövaldkond kindlasti, 3D-modelleerimine ja mudelite tegemine /.../ Internetis müüakse elektroonsel kujul mudel, inimene ostab selle ja läheb prindib oma printeriga välja, et see ongi juba selline töötamise valdkond (Markus).

3D-printeri kasutamist soodustavad ja takistavad tegurid

3D-printeri kasutamist soodustavad tegurid. Intervjuudes osalenud õpetajad tõid esile tegureid, mis soodustavad 3D-printeri kasutamist. Selle kategooria all räägiti järgnevatest teguritest: (1) koostöö, (2) eseme valmimisprotsessi nägemine, (3) õpetaja eneseharimine ja (4) tarkvara valik. Tulemuste esitamiseks koostati joonis (vt joonis 3).



Joonis 3. Teise uurimisküsimuse soodustavate tegurite andmeanalüüsil eristunud pea- ja alakategooriad

(1) Koostöö. Uuritavate hinnangul on 3D-printeri kasutamisel oluliseks teguriks koostöö. Üks intervjuueeritu tegeleb enda koolis ainukesena printeri kasutamise ning hooldamisega, kolm intervjuueeritavat saavad teha ka koostööd. Koostööd tehakse õpetajatega ning kooli tehnikuga. Intervjuueeritavad rääkisid, et on hea, kui koolis tegeleb mitu õpetajat või tehnik 3D-printeriga, sest koostöö tagab vajalikud teadmised. Koostöö kooli tehnikuga tagab 3D-printeri kasutamise kiiruse, sest tal on teadmised 3D-printeri mehhaanikast.

See printer on nii uus, et tehniline pool ongi praegu tehnikute teha. Ma kujutan ette, et selle asja, kuidas seadistada juhendi järgi ja tööle panna, selle ma õpin ära, aga alati on turvalisem, kui seda tehnik jälgib (Kristjan).

Õpetajad tunnistavad, et uue tehnoloogia probleemideta õppetöösse kaasamine on ajakulukas. Kooli tehnikul on oluline roll, sest intervjuueeritavad on mitme erineva aine õpetajad ning seetõttu kulub korraliku väljaõppe saamiseks aega. Selgeks tuleb õppida palju nüansse nii

modelleerimiseks kui ka printeri mehhaanikast ning ajakulu peavad intervjueeritavad üheks teguriks, miks vähesed õpetajad on alustanud 3D-printeri kasutamise õppimist.

Mina näen, et sellega võiksid ja peaksid tegelema paljud, aga küsimus on selles, et see nõuab teadmisi /.../ Ja paljud seda õppida tahavad, on teine küsimus (Argo).

(2) Eseme valmimisprotsessi nägemine. Õpetajad kirjeldasid, et õpilased saavad jälgida, kuidas 3D-printer nende modelleeritud töid välja prindib. Printeri asukohaks koolides on eraldi ruum, õppeklass või koridor. Intervjueeritavate sõnul on eseme valmimisprotsessis oluliseks osaks enda eseme välja printimise nägemine, sest siis on võimalus teha kohe järeldusi, kas ese sai modelleeritud otstarbekalt. Uurimuses osalenud õpetajate sõnul soovivad õpilased jälgida printeri töötamist ning eelkõige enda modelleeritud eseme valmimisprotsessi. Ühes intervjueeritud koolis saab terve koolipere jälgida printeri tööd terve koolipäeva jooksul koridoris, sest õpetaja sõnul on see õpilaste huvi äratamiseks hea asupaik ning lisaks tuuldub koridoris õhk paremini kui kinnises klassiruumis.

Oli kartus koridoris, et ei tea mis seal juhtub, aga mitte midagi ei ole juhtunud. Eks neil ole ikka väike aukartus selle masina suhtes, et ta ikka ei lähe torkima niisama, saavad aru (Kristjan).

Käime õpilastega vaatamas, kuidas see prindib (Markus).

Tegelikult on nii, et ta printimise ajal ajab päris sellist haisu välja, see plastmass kõrbe /.../ Mul on arvutiklassis tund ja ise istun seal kõrval näiteks ja üldse ei taha olla seal, terve klass läheb seda täis. Koridoris tuuldub paremini, palju normaalsem (õpetaja).

(3) Õpetaja eneseharimine. Kõik intervjueeritavad on koolis mitmete ainete õpetajad ning enese hariduslik täiendamine on õpetajate arvates nii iseendale kui õpilastele kasulik. Rääkides enda taustast, kuidas nad on õppinud tarkvara kasutama, selgitasid õpetajad, et nad on peamiselt õppinud täiesti iseseisvalt, kuid mõned intervjueeritavad on läbinud ka mitmeid koolitusi. Lisaks teoreetiliste teadmiste tundmisele peavad õpetajad omama kogemusi praktiliste mudelite koostamises, et olla head modelleerijad.

Ma olen ise katsetanud ja proovinud, et mis töötab, mis ei tööta. Et kus need probleemid on, et see on puhtalt jah katseeksitus meetodil (Markus).

Ma käisin koolitusel, tegin Tiigrihüppe 3D-modelleerimise Solid Edge koolituse läbi. Ja ma tegin täiesti iseseisvalt läbi Solid Edge õppevideode järgi, praktiliselt kõik asjad mis Internetis selle Solid Edge juures olid, selle ma tegin ise ja mitu korda (Kristjan).

Intervjueeritavad töid välja, et õppimine on olnud pikk protsess, sest kõik tarkvara tööriistad tuleb läbi katsetada. Veelgi ajamahukam on printeri tööle seadmine ning mehaanikaga tutvumine. Hoolimata sellest, et modelleerimise tarkvaraga katsetamine ning printeri

mehhaanikaga tutvumine on ajakulukas protsess, selgus intervjuudest, et õpetajad on motiveeritud ning nad on uutele teadmistele avatud.

See ei olnud päris nii, et käid korra kuskilt läbi ja oled nüüd spets, see ei ole nii. Ajakulu on küllaltki suur (Kristjan).

(4) Tarkvara valik. Uuritavate sõnul on neil ise olnud võimalus valida tarkvara, millega nad soovivad enda õppeaines modelleerimiseks tarkvara valida. Õpetajad kasutavad erinevate õppegruppidega erinevaid tarkvaraprogramme, sest vajadused on erinevad ning vabavarana kasutatavad programmid on koolile majanduslikult kasulikud. Lisaks on mõned programmid ka lihtsamad ning seetõttu saab modelleerida lisaks gümnaasiumiõpilastele ka noortemate õpilastega põhikoolis. Nii õpetajad kui ka õpilased peavad hakkama saama tarkvara erinevate moodulite ning tööriistadega ning oskama neid otstarbekalt kasutada. Uuritavad kasutavad SolidEdge, SketchUp ja Blender tarkvaraprogramme.

Täiesti nullist midagi teha on võib-olla keeruline, aga päris palju on selliseid programme, et modelleerimise osa on lihtsaks tehtud tänapäeval /.../ Lihtsamaid asju on võimalik üsna noortel teha (Mihkel).

Põhiliselt SketchUp, mis on nagu pindmodelleerimine /.../ SolidEdge mudelid on paremad, Kuid printeri jaoks SketchUp, sest see on mahtmodelleerimine ja printer saab neid ilma mingite vigadeta lugeda (Markus).

3D-printeri kasutamist takistavad tegurid. Hoolimata sellest, et intervjueeritavad õpetajad nimetasid erinevaid tegureid, miks 3D-printeri kasutamisel on positiivseid külgi, tõid nad välja tegureid, mis valmistavad 3D-printeri kasutamisel probleeme (vt joonis 4). Selle kategooria all räägiti järgnevatest teguritest: (1) tehnilised probleemid, (2) esemete moondumine ja järeltöötlus ja (3) hooldus. Kõik probleemid on lahendatavad ning intervjueeritavate hinnangul ei ole õpilastele ühtegi negatiivset tegurit, miks 3D-printerit ei peaks kasutama.



Joonis 4. Teise uurimisküsimuse takistavate tegurite andmeanalüüsil eristunud pea- ja alakategooriad

(1) Tehnilised probleemid. Intervjueeritavate sõnul võib aeg-ajalt tekkida masinal tehnilisi tõrkeid. Probleeme on tekkinud masina soetamise järgselt selle seadistamisel ning tööle saamisel. Lisaks on tekkinud tehnilisi probleeme kasutamise käigus, kuid need tagasilükked on olnud lahendatavad. Intervjueeritavad rääkisid, et tehnoloogia pideva uuenemise tagajärjel muutuvad vanemate masinate osad kallimaks. Kuna olemasoleva 3D-printeriga on võimalik puuduv osa ka ise välja printida, saab tehnilisi tõrkeid lahendada ka koolis.

Kõigepealt hakkas asi sellega, et masin ei läinud korralikult tööle, oli vaja kõigepealt tundma õppida (Kristjan).

Meil vahepeal oli printeri pea läbi /.../ Ja selle vana printeriga need jupid on kallid ka (Markus).

(2) Esemete moondumine ja järeltöötlus. Pärast modelleerimist välja printitud esemed vajavad järeltöötlemist, sest printimise alguses masina peale paigutatud liim tuleb eemaldada. Õpetajad selgitasid, et modelleerides tuleb kõik nüansid korralikult läbi mõelda, sest on olnud olukordi, kus algselt modelleeritud ese ei tule printerist alati välja ootuspärane, sest ese on deformeerunud. Põhjustena tõid intervjueeritavad välja, et modelleerides tuleb mõelda, millise külje peale ese tuleb üles ehitada ning kas esemele on piisav toetuspind. Lisaks tõid õpetajad välja, et tehnoloogia uueneb pidevalt ning koolides kasutatakse odavamas hinnaklassis printereid ning seetõttu on loomulik, et tulemus ei ole alati suurepärane.

Meil on suhteliselt vanemal tehnoloogial põhinev printer, seal on nii palju eel ja järeltööd. Nad vananevadki jube kiiresti, sest uued tulevad peale ja muutuvad järjest odavamaks (Markus).

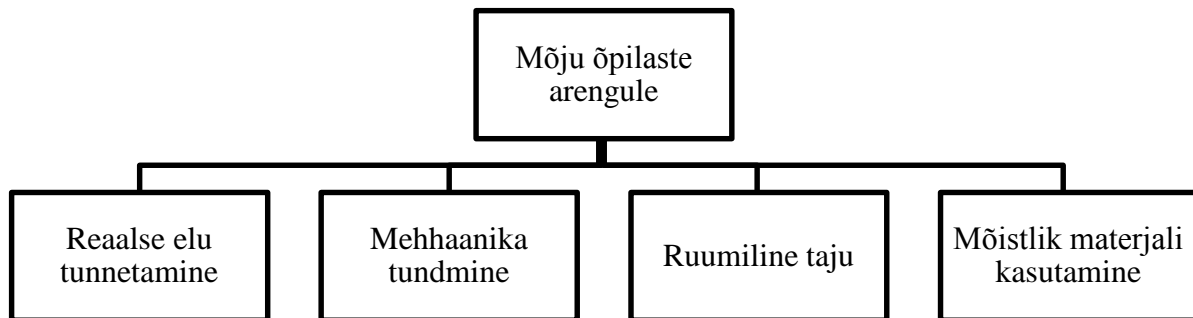
(3) Hooldus. Kõik uuritavad ütlesid, et 3D-printerid vajavad hooldamist ning selleks võiks koolis olla eraldi inimene, kes vastutab printeri töökorras olemise eest. Õpetajate arvates on turvalisem, kui printimise protsessi jälgib tehnik, kes on saanud spetsiaalse väljaõppe või on iseseisvalt 3D-printerit tundma õppinud.

Keegi peab hooldama seda, meil on õnneks inimene, kes sellega tegeleb. Aga ma arvan, et paljudes koolides ei ole seda, et ongi üks õpetaja, kes on endale võtnud selle vastutuse või koorma, et tegeleb sellega (Markus).

Keegi peaks haldama selliseid asju, see oleks mõistlik. Ma ei ole selleni lihtsalt veel jõudnud, loomulikult ma pean selle asja omandama, aga ma lihtsalt ei ole selleni jõudnud, see on ikkagi nii uus (Kristjan).

3D-printeri mõju õpilaste arengule

Intervjueeritud õpetajad tõid välja erinevaid tegureid, mida arendavad modelleerimine ja 3D-printeriga esemete välja printimine. Selle kategooria all räägiti järgnevatest teguritest: (1) reaalse elu tunnetamine, (2) mehhaanika tundmine, (3) ruumiline tajut ja (4) mõistlik materjali kasutamine. Tulemuste esitamiseks koostati joonis (vt joonis 5).



Joonis 5. Kolmanda uurimisküsimuse andmeanalüüsil eristunud pea- ja alakategooriad

(1). Reaalse elu tunnetamine. Õpetajate hinnangul areneb modelleerimise ja 3D-printeri kasutamisega õpilaste reaalse elu tunnetamine, mis hõlmab enda alla reaalses elus eksisteerivaid objekte ja nende vahelisi seoseid. Ühe intervjueeritava sõnul teeb ta tundides ülesandeid, kus tuleb teha esemest joonis ning arvutimudel ning see hiljem välja printida, et võrrelda enda loodud eset prototüübiga. Modelleerides lahendab õpilane probleemi, mida nähakse objektidena arvuti kuvaril, kuid probleemi lõpplahenduseks on välja prinditud füüsiline objekt.

Tegelikult on väikestviisi ka see, et mis toimub päris elus. Sest päris elus ongi, et keegi kavandab ja sellest tuleb toode /.../ Siis teine asi ka, et saadki seda käega katsuda ja proovida. Meil on mitmed ülesanded, et meil on mudel, teeme sellest arvutimudeli, siis teeme sellest joonise, me saame selle asja uuesti välja printida (Kristjan).

Sa teed küll midagi arvutis, aga siis on see sul järsku laua peal olemas, see on võib-olla kõige ägedam selle asja juures. See võib-olla tekitab huvi ka (Markus).

Et on füüsiline objekt pärast valmis, et ei ole lihtsalt suvalised jooned ekraani peal, vaid seda saab pärast käega katsuda, see on väga oluline (Argo).

(2). Mehhaanika tundmine. 3D-printeritega kokku puutunud õpetajad peavad oluliseks, et õpilased saaksid aru, kuidas masinad töötavad ja arvuti teel juhitud teljed liiguvad. Lisaks programmiõpetusele tuleb mõista, kuidas printeri mehhaanika töötab.

Kui reaalseid asju teha, siis puhas mehhaanika, et kuidas mingid asjad omavahel kokku sobima hakkavad. Peab reaalselt aru saama, mismoodi erinevaid telgi juhatakse ja kuidas sellest tervik tekib, seda on oluline eelnevalt aru saada /.../ Ütleme siis rahvakeeli, et insenerimõtlemist peaks tekkima (Argo).

(3). Mõistlik materjali kasutamine. Õpetajate sõnul õpetab modelleerimine õpilastele, kuidas mudel ette valmistada nii, et printides ei kuluks materjali asjatult. Õpilane peab modelleerides tegema palju otsuseid, et lõpptulemusena saadud objekt oleks ilma vigadeta korrektne töö, kus on materjali kasutatud otstarbekalt.

Ta on kallis, aga see on mudeli ettevalmistamise küsimus, et kuidas mudel teha nii, et materjali kulu oleks võimalikult väikene /.../ Ja et ei oleks mingeid vigu sees (Markus).

(4). Ruumiline tajut. Intervjueeritavad õpetajad on märganud, et õpilastel on koolis ruumilise tajut ülesannetega probleeme. Kõik uuritavad tõid välja, et õpilaste ruumilise tajutuga seonduv on individuaalne, sest õpilased on erinevad.

Mõnel on analüütiline mõtlemine, mõnel on ruumiline mõtlemine. Mõni kes mingitest võrranditest üldse mitte midagi ei saa aru, mis see x on, aga teevad sterenomeetiaülesanded kõige kiiremini ära (Markus).

Intervjueeritud õpetajate hinnangul arendab ruumilist tajut esemete modelleerimine, sest kui õpilane on virtuaalses ruumis sees, peab ta mõtlema ruumiliselt. Uuritavate sõnul õpetatakse koolis teemasid järk-järgult, et õpilased suudaksid 3D-modelleerimist edukamalt teha. Kõigepealt on õpilastel oluline omandada vormiõpetus, mis tegeleb füüsilise materjali muutmise ja seejärel õpetusse lisada virtuaalne pool. Õpetajad tegelevad ruumilise tajut arendamisega nii arvutis kui reaalselt suuliste ja kirjalike ülesannetega.

Mingeid asju oma peas tasapinnaliselt ruumiliseks mõelda ja vastupidi, näiteks võtad ette joonise ja kujutad ette, milline see välja näeb, sest sul on ainult vaated mingist asjast (Markus).

Ja sellepärast võib-olla alustatakse õpetamist vormiõpetusest, mis tegeleb reaalse füüsilise materjali muutmise ja veidi hiljem tuleb virtuaalne pool sisse (Mihkel).

Praegu ma tunnen eriti, et olen sellel aastal teinud hästi palju ruumilisi asju /.../ Nii arvutis kui reaalselt ruumiliselt (Kristjan).

Arvuti kuvari pealt vaadates ei saa täielikku vormitunnetust sujuvatest pindadest, missugune ese välja näeb. Seetõttu modelleeritud eseme välja printimine annab õpilasele parema ülevaate eseme täpsest vormist ning nüanssidest. Õpetajad kirjeldasid, et nad on lastele andnud ülesandeks välja prinditud ese ka paberile teha, mis arendab õpilase joonestamisoskust.

Virtuaalselt ekraani pealt näed asja ühest aspektist, sellist täielikku vormitunnetust sa kindlasti, see kindlasti lisab midagi, kui sa konkreetset oma virtuaalse asja teed füüsiliselt valmis ka. Üks aspekt on vormitunnetus, mitte just nii väga arhitektuursete asjade puhul, aga kui on sujuvad pinnad /.../ Arvuti ekraani pealt on üsna keeruline

tajuda seda täpselt vormi, milline ta siis on. Kui sa selle välja prindid ja käega katsud, siis on ikka kohe teine asi (Mihkel).

Mitmetest tükist koosneb, mina annan neile need tükid ja siis nad mõõdavad ja joonestavad ülesse detaili joonised ja koostejoonised (Markus).

Arutelu

Department for Education (2013) uurimusest selgus, et halva keskendumisvõimega õpilased suutsid 3D-printerit kasutades tunni vastu huvi tunda ning seeläbi avastada keerulisemaid disaine ja kujundeid, mida nad ei saa teha tehnoloogiaga oma tavapärasel klassiruumis. Lisaks huvi tekitamisele tunni teema vastu, tõid käesolevad uurimused õpetajad välja ka selle, et 3D-printimisega tekib õpilastel huvi tehnikateaduste vastu ning see suunab õpilasi valima tulevikku inseneriteaduste suunas. Eesti elukestva õppe strateegia 2020 (2014) üheks eesmärgiks oli, et kõrghariduses loodus- ja täppisteaduste, tehnika, tootmise ja ehituse erialade lõpetanute arv tõuseks kolme protsendi võrra. Käesolevas uurimuses osalenud õpetajate hinnangul on õpilaste huvid individuaalsed, kuid nende arvates on võimalik lapsi võimalik suunata valima tehnoloogiaga seotud tulevikku. Inseneriks saamisel võivad mõnel õpilasel olla paremad eeldused, kuid 3-D printer on üheks vahendiks viia õpilasi kokku tehnoloogiaga.

Praktiliste esemete valmistamist ja õppeainete integreerimist prinditud esemetega õppeainetes on varasemalt (Eisenberg, 2013; Kostakis, Niaros & Giotitsas, 2015) nimetatud üheks kasuteguriks õpilastele. Käesoleva uurimuse tulemused on sellega kooskõlas, et 3D-printerit saab kasutada matemaatikas, keemias ja kunstis ning 3D-printeriga saab teha esemeid ja kujundeid, mida õpilased ei saa teha oma tavapärasel klassiruumis. 3D-tehnoloogiaga saab õpilastele õpetada reaalseid asju põneva probleemilahendusena. 3D-printimine ja 3D-modelleerimine on pigem oskuspõhine õppimine kui faktide õppimine.

Varasemad uurimused on näidanud (Christiansen et al., 2015), kuidas automaatselt tagada, et objektid oleksid tasakaalustatud ning seisaksid ilma toeta ning mudeli kuju ei deformeeru isegi siis, kui kasutatakse ühe objekti printimiseks erineva tihedusega materjale. Uurimuse autorid väidavad, et optimeerimine alati ühtsustab mudeli, millest tulenevalt tasakaalustatakse iga 3D-mudel, see tähendab, et tarkvara automaatselt modelleerib mudeli sisse struktuuri objekti toetamiseks. Käesoleva uurimuse tulemused on sellega kooskõlas, et 3D-printer suudab tasakaalustada mudeli, kuid deformeerunud esemed tekivad, kui

modelleerides ei tehta esemele piisavat toetuspinda. Siit võib järeldada, et mõistlik on välja printida esemeid, mis on korrektselt modelleeritud.

Department for Education (2013) uurimusest selgus, et 3D-printeri eduka kasutamise teguriteks on koolitatud õpetaja, koostöö ja printeri kättesaadavus. Sama näitavad ka käesoleva uurimuse tulemused. Õpetajad selgitasid, et modelleerimise ning 3D-printeri mehaanikaga tutvumine on ajakulukas, mehaaniku või õpetajatega koostöö kiirendab õppetööd ning õpilased saavad jälgida printimise protsessi. Department for Education (2013) uurimuses on välja toodud, et eriala esindaja kindlustab, et valitud tarkvara saaks üle kooli kasutada erinevates ainetes ning kooli tehniku toetus on oluline tegur, et aidata õpetajaid printeri kasutamisel ja disainimisel. Käesolevas uurimuses oli võimalik kolmel õpetajal neljast teha koostööd kooli tehnikuga, seega koostöö on kasutamist soodustav tegur, kuid selle puudumine ei ole kasutamist takistav tegur. Õpetajad rääkisid, et peamiselt on nad õppinud modelleerimist ja 3D printeri kasutamist katsetades ning vajalikud teadmised on omandatud enne õpilaste õpetamist. See on kooskõlas varasema uurimuse (Kostakis et al., 2015) tulemusega, et õpilase edukaks tööks 3D-printimisega peab õpetaja eelnevalt tundma mõisteid ja põhitõdesid.

Õpetajad omandavad täiendavaid teadmisi peamiselt koolivälisel ajal (European Schoolnet, 2012), kuid Himo (2005) uuringust järeldati, et IKT rakendamisele on positiivne mõju täiendkoolitustel käimine, sest õppimine tagab IKT võimaluste mitmekülgsema rakendamise. Käesolevas uurimuses õpetajad olid küll osalenud koolitustel, kuid nad ei pidanud seda esmatahtsaks, sest peamiselt õpiti iseseisvalt programmiga katsetades. Ühest küljest on täiendkoolitused vajalikud, kuid motiveeritud õpetaja suudab 3D-modelleerimist ning printeri mehhaanikat õppida ka täiesti iseseisvalt.

Uuritavate arvates arendab 3D-printeri kasutamine ning arvutis esemete modelleerimine reaalse elu tunnetamist, mehaanika tundmist, ruumilist taju ning materjali säästva kasutamise oskust. 3D-printeri kasutamise mõju õpilaste arengule ei ole varem uuritud ning seetõttu ei ole võimalik käesoleva töötulemusi võrrelda varasemate uuringutega.

Töö kitsaskohad ja praktiline väärtus

Käesoleva uurimustöö piiranguks on valimi väiksus, sest Eestis on 3D-printerite kasutamine hariduses uueks tehnoloogiaks ning uuritavate arv on limiteeritud. Töö piiranguks on ka varasemate uurimuste puudumine Eestis ning väheste välismaiste uurimuste arv. Piisavate andmete puudumisel ei olnud võimalik võrrelda kõiki käesoleva uurimuse tulemusi varasemate uurimustega.

Eestis varasemate uuringute puudumine on ühtlasi ka käesoleva töö tugevuseks. Käesolev töö näitab esimesi tulemusi 3D-printeri kasutamist koolides. Esimese teadusliku tööna annab see uurimisvõimalusi edaspidiseks. Tulevikus tehtavates uurimustes saab kasutada suuremat valimit, sest mittetulundusühingu Eesti 2.0 pilootprojekti eesmärk on varustada 50 Eesti põhikooli ja gümnaasiumi 3D-printeriga enne 2015/16 algavat õppeaastat (Eesti 2.0, 2015).

Töö omab praktilist väärtust koolidele ning õpetajatele, kes kasutavad või plaanivad kasutada 3D-printerit. Tööst saab ülevaate, missugustel põhjustel võiks 3D-printerit kasutada ning missugused on kasutamise soodustavad ja takistavad tegurid. Käesoleva lõputöö tulemusi saab kasutada edaspidistes uuringutes, mis käsitlevad 3D-printeri kasutamist koolides. Järgmisest õppeaastast alates tehtavad uuringud saavad kasutada suuremat valimit ning 3D-printereite aktiivse kasutamise käigus saab uuritavat teemat kitsendada.

Tänu sõnad

Tänan enda juhendajat ja uurimuses osalenud õpetajaid, kes olid nõus minu töösse panustama enda kogemusi ja teadmisi.

Autorsuse kinnitus

Kinnitan, et olen koostanud ise käesoleva lõputöö ning toonud korrektselt välja teiste autorite ja toetajate panuse. Töö on koostatud lähtudes Tartu Ülikooli haridusteaduste instituudi lõputöö nõuetest ning on kooskõlas heade akadeemiliste tavadega.

25.05.2015

Kasutatud kirjandus

- Ahonen, A. K., & Kinnunen, P. (2014). How Do Students Value the Importance of Twenty-first Century Skills? *Scandinavian Journal of Educational Research*.
- Anadioti, E., Aquilino, S. A., Gratton, D. G., Holloway, J. A., Denry, I. L., Thomas, G. W., & Qian, F. (2015). Internal fit of pressed and computer-aided design/computer-aided manufacturing ceramic crowns made from digital and conventional impressions. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 113(4), 304–309.
- Christiansen, A. N., Schmidt, R., & Bærentzen, J. A. (2015). Automatic balancing of 3d models. *Computer-Aided Design*, 58, 236–241.
- Department for Education. (2013). *3D printers in schools: uses in the curriculum*.
- Eesti 2.0. (2015). *3D-printer 50 Eesti koolile*. Külastatud aadressil <http://www.eesti2.ee>.
- Eesti elukestva õppe strateegia* (2014). Tallinn: Haridus- ja Teadusministeerium, Eesti Koostöö Kogu, Eesti Haridusfoorum.
- Eesti Hariduse Infosüsteem (2012). *Statistika*. Külastatud aadressil: <http://www.hm.ee/ehis/statistika.html>.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107–115.
- Eisenberg, M. (2013). 3d printing to children: What to build next? *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(1), 7–13.
- European Schoolnet. (2012). *Survey of Schools: ICT in Education. Country Profile: Estonia*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/Estonia%20country%20profile.pdf>.
- Foulger, T. S. (2013). SIGTE Supports Innovation in Teacher Education, Once Again. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 30(1), 44.
- Golafshani, N. (2003). Understanding Reliability and Validity in Qualitative Research. *The Qualitative Report*, 8(4), 597–607.
- Gümnaasiumi riiklik õppekava* (2014). Külastatud aadressil <https://www.riigiteataja.ee/akt/129082014021>.
- Halapuu, V., & Valk, A. (2013). *Täiskasvanute oskused Eestis ja maailmas: PLAAC uuringu esmased tulemused*. Külastatud aadressil https://www.hm.ee/sites/default/files/piaac_esmased_tulemused.pdf.

- Hirmo, C. (2005). *Eesti üldhariduskoolide õpetajaid mõjutavad tegurid info- ja kommunikatsioonitehnoloogia rakendamisel*. Publitseerimata magistritöö. Tartu Ülikool.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2005). *Uuri ja kirjuta*. Tallinn: Medicina.
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277–1288.
- Kelly, J. F. (2014). *3D printing Build Your Own 3D printer and Print Your Own 3D Objects*. USA: Inc Pearson Education.
- Kostakis, V., Niaros, V., & Giotitsas, C. (2015). Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and Informatics*, 32(1), 118–128.
- Lacey, G. (2010). Get Students Excited! 3D Printing Brings Designs to Life. *Tech Directions*, 70(2), 17–19.
- Laherand, M.-L. (2008). *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn: Infotrükk.
- Lepmann, T. (2014). *2014. aasta laia matemaatika riigieksamid analüüs*. Külastatud aadressil http://www.innove.ee/UserFiles/Riigieksamid/2014/Matemaatika/lai%20matemaatika%20eksam_anal%C3%BC%C3%BCs.pdf.
- Leppik, P. (2000). *Lapse arendamine ja õpetamise probleeme koolis*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Leppik, P. (2010). *Mure Eesti kooli pärast: 13 esseed pedagoogika ja psühholoogiateaduse kaitseks*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Moorefield-Lang, H. (2014). 3D Printing in Your Libraries and Classroom. *Knowledge Quest*, 43(1), 70–72.
- McLellan, E., MacQueen, K. M., & Neidig, J. L. (2003). Beyond the Qualitative Interview: Data Preparation and Transcription. *Field Methods*, 15(1), 63–84.
- OECD (2012). *Literacy, Numeracy and Problem Solving in Technology-Rich Environments: Framework for the OECD Survey of Adult Skills*. Retrieved from http://www.oecd.org/site/piaac/PIAAC%20Framework%202012--%20Revised%2028oct2013_ebook.pdf.
- OECD (2013). *Technical Report of the Survey of Adult Skills (PIAAC)*. Retrieved from http://www.oecd.org/site/piaac/_Technical%20Report_17OCT13.pdf.
- Orton, A. (2004). *Learning Mathematics: Issues, theory and classroom practice*. London: Continuum.

PISA. (2012). *Eesti tulemused*. Külastatud aadressil

http://www.innove.ee/UserFiles/%C3%9Cldharidus/PISA%202012/PISA%202012_Eesti%20tulemused.pdf.

Polkinghorne, D. E. (2005). Language and Meaning: Data Collection in Qualitative Research. *Journal of Counseling Psychology*, 52(2), 137–145.

Prei, E. (Koost). (2013). *IKT vahendite kasutusaktiivsus Eesti üldhariduskoolides*. Külastatud aadressil

https://www.innovatsioonikeskus.ee/sites/default/files/tekstifailid/Sihtgrupi_kysitus_2012_2.pdf.

Põhikooli riiklik õppekava (2014). Külastatud aadressil

<https://www.riigiteataja.ee/akt/129082014020>.

Ryan-Nicholls K., & Will, C. (2009). Rigour in qualitative research: Mechanisms for control. *Nurse Researcher*, 16(3), 70–85.

Satu, E., Kääriäinen, M., Kanste, O., Pölkki, T., Utriainen, K., & Kyngäs, H. (2014).

Qualitative Content Analysis: A Focus on Trustworthiness. *SAGE Open*, 4(1).

Satwant, K. (2012). How is „Internet of the 3D Printed Products“ Going to Affect Our Lives.

IETE Technical Review, 29(5), 360–364.

Schreier, M. (2012). *Qualitative Content Analysis in Practice*. London: SAGE Publications Ltd.

Segerman, H. (2012). 3D Printing for Mathematical Visualisation. *Mathematical*

Intelligencer, 34(4), 56–62.

Sorby, S. A. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459–480.

Thornburg, D. D. (2014). Moving education from nouns to verbs. *Teacher Librarian*, 42(2), 38–41.

Valtonen, T., Kukkonen, J., Kontkanen, S., Sormunen, K., Dillon, P., & Sointu, E. (2015).

The impact of authentic learning experiences with ICT on pre-service teachers' intentions to use ICT for teaching and learning. *Computers & Education*, 81, 49–58 .

Õunapuu, L. (2014). *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes*. Tartu: Tartu Ülikool.

Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 817–835.

Lisa 1. Intervjuu kava

I IKT vahendite kasutamise oskus

- Kuidas Te hindate enda üldist tehnoloogiat (näiteks arvuti) kasutamise oskust?
- Kui tihti Te kasutate tundides IKT vahendeid?
- Kas koolis on olemas töötaja, kelle ülesandeks on IKT vahendite kasutamise koordineerimine koolis ja probleemide lahendamine?

II 3D-printeri kasutamine

- Mis on selle aine nimi, kus Te 3D-tehnoloogiat kasutatakse?
- Missuguseid õppeaineid Te veel annate?
- Kui kaua on Teie koolis olnud 3D-printer?
- Kui kaua Te olete kasutanud 3D-printerit?
- Kas Teie koolis tegeleb veel keegi tundides 3D-printeriga?
- Selgitage, milline on teie väljaõpe 3D-modelleerimise programmiga?
- Missugust tarkvara kasutate?
- Kuidas te hindate enda 3D-printeri kasutamise oskust?
- Kas te tunnete, et te vajaksite lisateadmisi 3D-printeri kasutamiseks? Palun täpsustage, millistest teadmistest teil puudu jääb.

III 3D-printer õppetöös

- Missugused on Teie jaoks põhjused, miks 3D-tehnoloogia kasutamine on koolis vajalik?
- Mida teeb 3D-printerite tehnoloogia õpilase/õpetaja jaoks lihtsamaks?
- Kas te oskate tuua välja miinuseid, mis on 3D-printeri kasutamisel koolis õpilaste/õpetajate jaoks?
- Missuguseid raskuseid on teil tundides tekkinud 3D-printeri kasutamisega?

IV Prinditud esemed

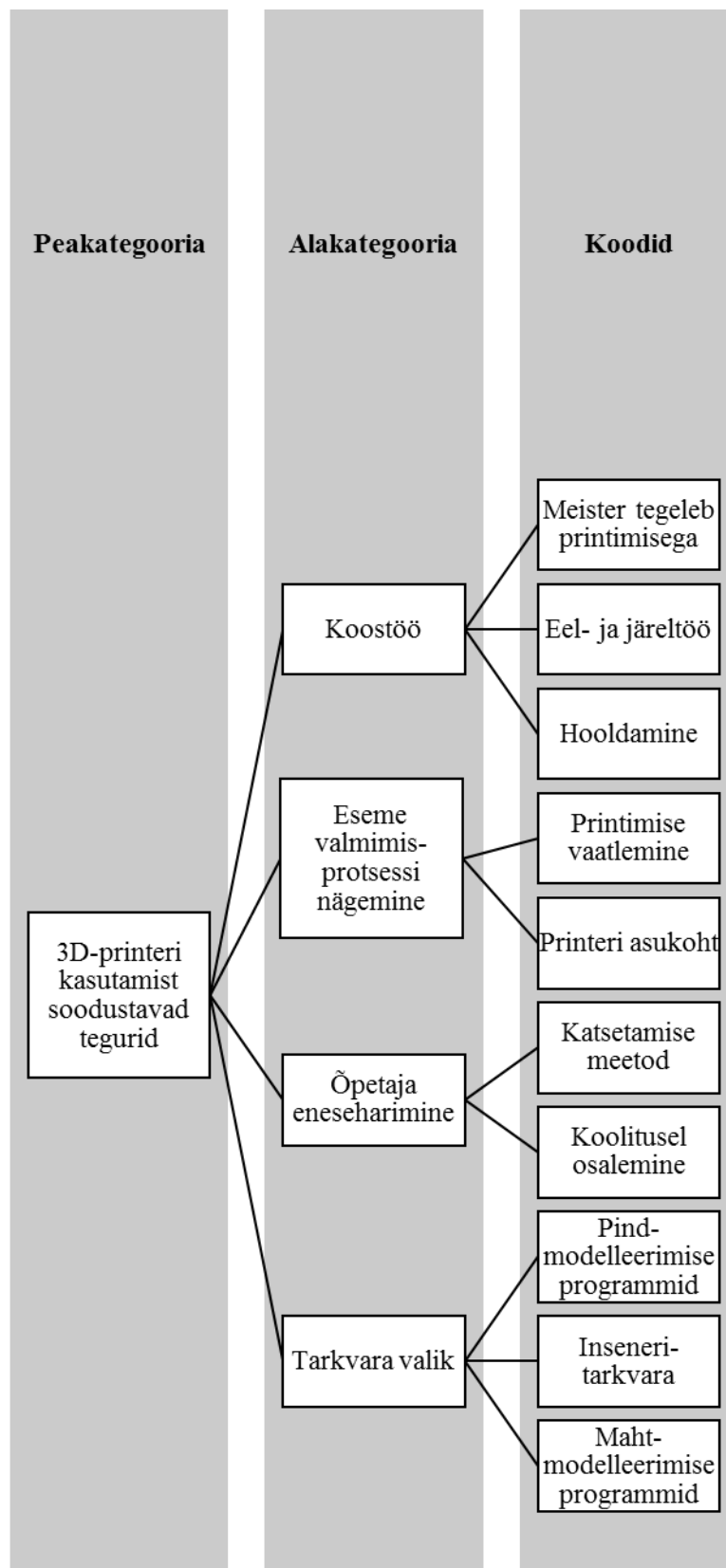
- Kas Teie kooli printer prindib ühte või mitut värvi esemeid?
- Kas Teile on määratud, kui palju võite materjali kulutada?
- Kuidas olete rahul prinditud esemetega?
- Missuguseid esemeid on õpilased 3D-printeriga juba printinud?

V Õpilaste areng

- Kuidas mõjutab 3D-printeri kasutamine ja 3D-modelleerimine õpilaste arengut?

- Mida võiks õppida tõhusamalt, kui traditsioonilise õppimise asemel kasutada 3D võimalusi?
- Kas te olete märganud, et õpilastel on koolis ruumilise taju ülesannetega raskusi?
- Palun selgitage, mis valmistab õpilastele ruumilise taju ülesannete juures raskusi?
- Tooge mõni näide, kuidas teie hinnangul 3D-printeri kasutamine mõjutab õpilase ruumilise taju arengut.
- Kas ning miks on teie arvates õppetöös vajalik, et igas koolis oleks 3D-printer?
- Missugustel põhjustel soovitaksite 3D-printerit kasutada ka õpilastel, kes seda veel kasutanud ei ole?
- Mis õppeainetega saab 3D-tehnoloogia kasutamist integreerida? Põhjendage.
- Mil määral mõjutavad 3D võimalused õpilaste hoiakuid, et õppida ja karjääri teha näiteks loodus- ja täppisteaduste ning tehnoloogia valdkonnas?
- Kas Te soovite 3D-printerite teemal veel lisada?

Lisa 2. Näide kategooriate moodustamisest



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Liina Karelson

(sünnikuupäev: 02.12.1991)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „ Õpetajate hinnangud 3D-printeri kui kaasaegse digitehnoloogilise vahendi kasutamisele õppetöös“,

mille juhendaja on Leo Aleksander Siiman,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 25.05.2015